

## Sammanfattning av slutrapport 11697 Bygg Bra Bostäder Billigare

Dan Engström, NCC Teknik

### 1 Sammanfattning

Projektet 4B syftar till att ge en konkret vägledning till hur bostadsbyggande med mycket hög industrialiseringsgrad och låga kostnader skall fånga upp kundkrav. Analyser av värdeflöden i befintliga processer och av industrialiserat byggda bostäders arkitektur utgör underlag för ett förslag till ny metodik i byggindustrin. Analyserna görs av Industriforskning och Utveckling AB (IVF, Mölndal) respektive av Institutionen för Arkitektur vid Chalmers Tekniska Högskola. Relevansen för industrialiserade byggsystem säkerställs av NCC. White arkitekter identifierar karakteristik i nordisk bostadsarkitektur och kombinerar den med den industrialiserade processen/tekniken. Arbetet leder fram till beskrivning av en ny design- och projekteringsprocess med värdeflöde, nya aktörer, ändrade hållpunkter och förslag till detaljer. I det sista skedet utvärderas forskningsresultaten och förbereds för implementering i byggprojekt.

Projektet 4B (Bygg Bra Bostäder Billigare) finansierades av SBUF, Boverkets byggkostnadsforum, stiftelsen ARQ och NCC. Arbetet startade i juni 2005 och avslutades i december 2007. Projektets metodik kallar vi "Hålet i muren" – en liknelse som beskriver att vi inte försöker lösa alla problem för alla, utan istället visar på en avgränsad möjlig väg genom problemen. Arbetet har tydligt tagit avstamp i en lean-inspirerad syn på industrialisering där maximerat kundvärde och minimerat slöseri kan leda fram till ett nytt arbetssätt och tänkande i byggbranschen. Projektet handlar inte primärt om att hitta billigare sätt att bygga. Projektet förutsätter istället att industrialisering är ett billigare sätt att bygga och identifierar kundvärden i industriellt producerade bostäder, diskuterar arbetsmetodiker för arkitekter och tillverkningsscenarier för varierande produktion.

### 2 Syfte

- Det konkreta målet med 4B är att ge vägledning till hur billigt byggande också skall bli bra.
- Det långsiktiga syftet med 4B är att ge byggsektorn underlag för en god industrialisering.

### 3 Projektet

Denna sammanfattning av slutrapporten från forskningsprojektet 4B – Bygg Bra Bostäder Billigare bygger på bifogad slutartikel. Artikeln och rapporten beskriver hur en utveckling av industriella system kan möjliggöra rationellt utvecklande av goda bostäder.

Bostadsbyggandet av idag är förvånansvärt likriktat. Systemtänkande och industrialisering ger möjlighet att skapa bättre variation, genom att utveckla nya samarbetsformer och gemensamt kunnande mellan aktörer för att hitta rätt avseende vad som ska standardiseras och vad som ska kunna varieras. Den pågående industrialiseringen av byggande sker med nya verktyg och med nya metoder, jämfört med tidigare faser. Vi kallar den pågående utvecklingen för nyindustrialisering. En av nycklarna till framgång heter mass customisation; en kundstyrd process där olika kombinationer av givna alternativ tillverkas direkt på order från enskilda kunder.

#### 4 Status

Projektarbetet är avslutat. Under projektets tidiga skeden detaljplanerades hur projektgruppen skulle nå projektmålen. Ursprungligen förutsåg vi att de deltagande företagen skulle stötta en industridoktorand som gjorde huvuddelen av arbetet. Det blev allt tydligare ju mer vi arbetade med frågorna att projektet skulle få karaktären av tvärdisciplinär problemformulerare, och att en doktorand inte var rätt metod att nå målen. Det fanns för många trådar inom olika ämnesområden att knyta samman för att en enskild doktorand skulle hinna komma någonstans inom det samlade området. Arbetet genomfördes istället av experter från de deltagande företagen och av examensarbetare. 4B representerar ett nytt ämnesområde, och portalen [www.arkitektur-industri.se](http://www.arkitektur-industri.se) är den första kontaktpunkten för den som är intresserad.

Formas gav i november 2007 besked att man finansierar en populärvetenskaplig bok av slutrapporten, som i sin arbetsversion är på 170 sidor. Boken *Nyindustrialiseringens arkitektur* beräknas utkomma under hösten 2008. I avvaktan på detta används projektets slutartikel på 30 sidor som formell slutrapportering till Boverket och SBUF.

#### 5 Deltagarna

Arbetsgruppen bestod av projektledaren *Dan Engström*, teknisk specialist vid NCC Teknik och adjungerad professor vid Chalmers Arkitektur, som har arbetat med entreprenörens perspektiv på industrialiseringen, *Ola Nylander*, adjungerad professor vid Chalmers Arkitektur, som har arbetat med industrialiseringsperspektivet utifrån den färdigställda arkitekturens kvaliteter, *Marja Lundgren*, arkitekt, partner och miljörådgivare vid White arkitekter som tillsammans med kollegorna *Elsa Törnros*, *Fredrik Ekman*, *Linda Mattsson*, *Fredrik Stenberg*, *Eric Engström* och *Fredrik Nilsson* har arbetat med industrialiseringsperspektivet utifrån arkitekturuppgiftens förutsättningar och dess ramar för skapande av industriell arkitektur (en undersökning som bland annat hållits i workshopform tillsammans med Swerea IVF), *Magnus Widfeldt*, *Ingvar Rask*, *Jens von Axelson* och *Björn Langbeck* från Swerea IVF som arbetat med industrialiseringens perspektiv utifrån processutveckling och industrins värdeskapande. Swerea IVF initierar, utför och omsätter FoU till tillväxt inom verkstadsindustrin. Deras arbete i 4B leddes av

Magnus Widfeldt, gruppleadare för produktionstekniska vägval vid avdelningen för produktframtagning. *Stefan Woksepp*, industridoktorand vid NCC Teknik var projektets sekreterare.

## 6 Vi påstår

Efter att ha genomfört projektet 4B om industriellt utvecklad bostadsarkitektur påstår vi att med industrialisering:

- möjliggör vi variation i bostadsbyggandet
- bygger vi bättre bostäder, med bättre detaljskärpa/kvalitet i detaljutformning
- bygger vi bostäder på ett billigare sätt
- och med mass customisation får vi kvalitet och rationalitet att mötas.

Nyindustrialiseringen bör också rimligen kunna bryta produktionens grepp över bostadsbyggandet och gör det möjligt för konsumenten att bestämma mer över den egna bostaden.

Med nyindustriella metoder Byggs Bra Bostäder Billigare.

Ur arbetet utkristalliseras tre perspektiv på frågan om industriellt utvecklad arkitektur: entreprenörens, arkitekturens och industrialiseringens. Artikeln diskuterar dem ett i taget, och se hur de påverkar varandra. I denna sammanfattning återges arkitekturens och industrialiseringens.

## 7 Nyindustrialiseringens interiörer

Industrialiserat bostadsbyggande kan påverka bostadens arkitektur på följande nivåer:

**Material och detaljer.** Ökad precision och ökad hållbarhet.

**Bostadsrummet** kan genom vinster i rationalitet utvecklas mot större areor, vilket ger mer generella rum.

**Rumsorganisationen.** Större flexibilitet och rikare möjligheter för egna val av rumstorlekar, rumsantal, inredningar mm.

Med hjälp av den industrialiserade byggprocessen kan den arkitektoniska kvaliteten höjas betydligt över den nivå som är bruklig i det platsbyggda alternativet.

**Materialvalet** i det industriellt byggda bostadshuset monteras rationellt och under de allra bästa förhållanden. En byggprocess inomhus med mer genomtänkta arbetsställningar gör att tiden för olika arbetsmoment radikalt kan minskas. Tillsammans med maskinell hjälp kan därmed komplicerade processer förenklas. Med stora serier kan kostnaderna sänkas, vilket samtidigt ger utrymme för att materialstandarden kan höjas.

## 8 Arkitektens drivkrafter

Inom bostadsbyggandet har utvecklingen mot ekonomisk rationalisering varit tydlig även innan nyindustrialisering blev på modet. Det är viktigt att genomlysna metodik och beslut så att konsekvenser i avseende på utformningens ramar tydliggörs, varibland den nödvändiga graden av upprepning och möjligheterna till variation i den styrda situationen uppmärksammas.

Även inom den traditionella enstycksarkitekturen har det funnits begränsningar vid utformning, men dessa har varit kända och erbjudit relativt stor frihet. Den därmed sammanhängande arkitekturuppgiften har präglats av ett komplext kundbegrepp, ett undflyende kvalitetsbegrepp och en designprocess för unika objekt som springer ur specifika platser med varierande programförutsättningar.

När förändrade metoder för att skapa byggnader söks genom applicering av den fasta industrins metoder står vi inför en övergång från enstycksarkitektur till massproduktion eller mass customisation. Elsa Törnros tydliggör i ett examensarbete att fast industri i sitt möte med modularisering tagit ett steg från massproduktion mot en större flexibilitet och variation, medan byggbranschens möte med modularisering innebär ett steg ifrån den frihet som enstycksarkitektur innebär avseende flexibilitet och variation<sup>1</sup>.

Som tidigare påpekats finns det trots detta stora potentialer i industrialisering eftersom upprepning kan sänka kostnader, vilket i sin tur kan höja standardnivån exempelvis i detaljer. Nyindustrialiseringens effektiviseringssträvanden kan därmed komma att innebära fördelar för normalproduktionen, men på bekostnad av vad?

Det är inför denna fråga vi står idag. Hur avgörs bäst vad som ska standardiseras och vad som ska kunna varieras i en styrd process eller produktion? Vilka arkitektoniska konsekvenser får en förutbestämning av upprepning- respektive variationsmöjligheter? Arkitekturen har traditionellt vuxit fram i mötet med en plats, medan det industriella byggandet förutsätter ett system är vara allmängiltigt gångbart. Då det finns klara skillnader mellan arkitektur och fast industri har White arkitekter tillsammans med IVF i 4B-projektet prövat och utvecklat modulariseringsprincipen i en serie workshops så att den möter den arkitektoniska designprocessen. Härigenom har vi fått flera viktiga erfarenheter, av vilka tre är särskilt angelägna att lyfta fram i detta sammanhang:

*1. Synen på kunden identifierades som en viktig skillnad mellan modulindelning i industrin och designprocessen inom arkitektur.*

---

<sup>1</sup> Elsa Törnros: *Industrialization in residential building - mass production or mass customisation?* Examensarbete Chalmers Arkitektur, april 2007. Modularisering innebär uppdelning av en produkt, tillverkningslina eller en byggnad i självständiga enheter (moduler) som kan hanteras (tillverkas, transporteras, monteras) var för sig. Varje modul har ett gränssnitt, som specificerar modulen skall möta andra delar av systemet. Gränssnittet är ett kontrakt mellan modulen och övriga delar av systemet där modulen åtar sig att uppfylla alla specifikationer i gränssnittet om inte någon lägger sig i hur den gör det.

2. Ordningen i processen är direkt omvänd i den industrin situationen i relation till den traditionella arkitekturuppgiften.

3. Den fasta industrins tydligt definierade egenskapskrav står i bjärt kontrast till arkitekturens vokabulär för att beskriva kvaliteter i en framtida byggnad.

Vi har i workshopsarbetet funnit att modulindelningsprinciper mycket väl skulle kunna utvecklas inom byggbranschen för att användas vid industrialisering.

Modulindelningsprincipen kan idag inte användas rakt av på grund av de skillnader mellan den fasta industri som den är hämtad från och byggbranschen. Modulindelningsprincipen och den traditionella arkitektur- designprocessen borde utvecklas för att mötas och därmed kunna hantera både den komplexa kundbild som råder vid skapandet av industriell arkitektur och de krav på att tidigt definiera generella kvaliteter som industrialiseringen förutsätter.

En sådan utveckling skulle bidra dels till att föra designprocessen närmare byggprocessen, dels till att föra samman byggbranschens olika aktörer. Det vore verkligt intressant att genom vidare forskning finna vägar för att kombinera modulindelningsprincipen med ett effektivt utnyttjande av den traditionella arkitekturprocessens funktioner.

Sammanfattningsvis kan industrialisering och arkitektur utvecklas i samklang om:

- metodik för beslut som berör vad som ska standardiseras och vad som kan varieras utvecklas utifrån målsättningen att resultatet ska förbli så flexibelt och varierat som enstyecksarkitektur är idag;
- en komplex kundbild tillåts som omfattar samhällets avnämare (genom stadsarkitekten, kommunen och allmänheten), en byggherre som ofta är skild från brukaren och flera brukare under byggnadens livstid;
- arkitektens traditionella designprocess bör vidareutvecklas tillsammans med metoder från fast industri. Det skulle möjliggöra en ny metodik för byggbranschen som drar nytta från erfarenheterna från både fast industri och den arkitektoniska designprocessen;
- generella egenskapskrav artikuleras utifrån ett begreppsliggörande av vad som utgör en arkitektonisk helhet, alternativt att modeller skapas för att vid ett tidigt skede öppna för det som utgör en arkitektonisk helhet (vilket förutsätter att arkitekturens kvalitetsbegrepp definieras utifrån egenskaper i högre grad än idag).

## 9 Industrialiseringsperspektivet

Industrialisering har sin huvudsakliga utgångspunkt i massproduktion, där möjligheterna grundlades att skapa ekonomiskt överkomliga kapitalvaror för breda folkgrupper. Negativa symboler blev arbetsuppdelning och det löpande bandet, symboler för utarmning av kreativitet och mänskliga värden. Samtidigt har många genom industrialiseringen fått

tillgång till förut ouppnåeliga varor, varor som stegvis blivit allt mer möjliga att utforma individuellt.

Det är en industriell utmaning både idag och imorgon, att ha förmågan att kombinera produkter med mycket stor variationsmöjlighet för kund, samtidigt som de mest effektiva produktionssystemen fortfarande är just av typen löpande band, med korta cykeltider för varje tillverkningsmoment.

En väg att hantera detta är en medvetet utformad arbetsorganisation, med exempelvis grupper som har arbetsrotation, där varje gruppmedlem också roterar till posten förbättringsarbete och utveckling. Detta kräver stark disciplin från ledningen. Frånvaro i produktionen ska inte innebära att den som just då driver förbättringsarbetet flyttas till produktionsuppgifter.

### 9.1 Tillverkningssystemens utveckling

Den stora förändringen över tiden vad gäller tillverkningsystem och enskilda produktionsceller är möjligheterna till ökad flexibilitet, och förmågan att integrera konstruktion och produktion. Detta har åstadkommits främst genom att kombinera informationsteknologi med flexibla tillverkningsmaskiner. Med datorkraft kan maskinernas rörelser precisionsstyras, enskilt och i integrerade rörelsemönster, samt också upprepas på ett ständigt likadant sätt.

CADCAM, datorstöd för konstruktion, modularisering och parametrisering har lagt grunden för mass customisation. Den har också drivits på genom allt bättre prestanda hos tillverkningsutrustning och datorer, till samma eller lägre pris som tidigare. Industrialiseringen kan idag leverera produkter som nått oerhört mycket längre än i industrialiseringens barndom, vad gäller flexibilitet och möjligheter till kundorderbeställning. Mass customisation är idag inte förbehållen segmentet exklusivitet. En liknande process finns för bostäder: Att kompetenta designers eller inredningsarkitekter hålla samman specifika paketlösningar, för kök, badrum etc. Kunden väljer färre alternativ, men alternativ som är genomtänkta på ett sätt, som normalkonsumenten kan ha svårt att både genomföra och överträffa.

### 9.2 Artiklar och varianter

Att skapa nya och unika artikelnummer kostar, men variantbildning behöver inte vara kostnadsdrivande. Artiklar är specifikt utformade produkter eller komponenter, som måste beställas och/eller lagerhållas separat. En variant däremot, kan innebära en specifik bearbetning av en viss artikel. Exempel är kapning av en rambalk, eller varför inte en trälist, till en viss längd.

#### Fönstret som produkt och arkitektoniskt element

I projekt 4B har en dialog och ett utredningsarbete om artiklar och variantbildning förts, främst utifrån fönstret som industriprodukt och som arkitektoniskt element. Ur ett

industriellt perspektiv, är fönstret en avancerad produkt med en i många stycken långt driven produktionsteknisk och materialteknisk utveckling. Fabriker för fönster finns på olika håll i Sverige, vissa med mycket stor produktionskapacitet och hög automatiseringsgrad.

Fönster har en mycket stor arkitektonisk betydelse, både exteriört och interiört. Samtidigt finns det kunskap som borde omsättas i högre grad, för att skapa fönster med högre estetiska värden. Detta gäller fönstret som produkt, förmågan till vackert gäller ljusinsläpp, bättre isolationsförmåga etc. Ur ett industriellt perspektiv, har frågan om möjligheter och kostnader att tillverka ett sådant fönster ställts till fönstertillverkare. Ett svar, knutet till en mycket högt automatiserad fabrik, visade på förvånande små kostnader för att ställa om fabriken till ett nydesignat fönster. Orsaken var här att fönstrets form – fönsterkarmen – frästes fram ur relativt stora trästycken, för att hålla nere antalet artiklar. För att tillverka en ur arkitektonisk synpunkt förbättrad geometri, som rymdes inom det givna trästycket, skulle enbart behövas ett byte av fräsverktyg (till en engångskostnad) och viss omprogrammering av de datorstyrda maskinerna.

För att förstå värdet för kunderna framåt i tiden skapas olika forum för möten. Ett exempel är de ”kliniker” som bilindustrin har skapat, framförallt i Kalifornien, för att testa och utvärdera kunders åsikter om kommande bilmodeller.

#### Framtidens direkttillverkning eller friformsframställning

Allt mer komplexa möjligheter kommer att erbjudas vad gäller flexibel tillverkning. Idag finns företag som lever på att sälja tillverkningsmaskiner, som i tunna lager skikt för skikt tillverkar nya högkvalitativa produkter exempelvis i metall, direkt från en tredimensionell struktur konstruerad i en dator. Forskning och utveckling om sådan ”direkt tillverkning” görs även för byggnader.

#### Resurseffektivitet: Lean i alla led

Resurseffektivitet utifrån en helhetssyn är allt väsentligare för att öka framgången i en verksamhet. Detta gäller inte bara tillverkningen, utan all verksamhet i ett företag. Det engelska begreppet production har egentligen en relevans för hela kedjan i konstruktionsarbetet, tillverkningen, leveranser, faktureringar etc.

Vad gäller tillverkning och fabriksutformning, har en studie av fyra japanska fabriker för småhus gjorts under 2007, genom Boverkets Byggekostnadsforum. Påfallande är det mycket effektiva flöden som sker genom fabrikerna. Flexibiliteten är hög, ett exempel är förtillverkade ytterpaneler, gjutna med stenmönster i fasaden. Av 40 paneler som behövdes för ett specifikt hus var 30 olika. Flödet av komponenter från leverantörer in i fabrikerna var också generellt sett mycket effektivt. En jämförelse med svenska förhållanden visar dock, att flera svenska fabriker levererar med påtagligt högre färdigställandegrad vid leverans från fabrik.

Men leverantörer till byggindustrin som arbetar industriellt har ur ett värdeskapande perspektiv mycket att förbättra. Med det stora intresse för resurseffektivare arbetssätt som

nu pågår i svensk industri, inklusive byggsektorn, får slutklämmen för industrialiseringsblocket sluta i dur: Det finns mycket goda möjligheter att skapa mervärden och ändå hålla kostnaderna nere genom att bygga bra bostäder billigare!

## 10 Fem utgångspunkter för industriella system

Ett gott industriellt byggsystem skapar värde för kund- och brukargruppen och ger samtidigt hela värdekedjan möjlighet till ekonomiska marginaler. Det ger möjlighet till en väl formgiven byggd miljö. Närvaron av många olika typer av system ger möjlighet till variation och till att driva utvecklingen av samtida arkitektur.

Som slutsammanfattning från projektet 4B vill vi här ange fem utgångspunkter för ett industriellt byggsystem, som kombinerar god arkitektonisk potential med industriella processer.

1. Helhetssyn på kund, brukare och samhälle
2. Utnyttjar det industriella byggandets egenskaper
3. Genomtänkt struktur för öppenhet
4. Ökande flexibilitet
5. Effektivare kunskapsutbyte och flöden

## 11 Publicitet

*Centrum för Arkitektur och Industri* vid Chalmers Arkitektur är en direkt följd av projektet 4B. Centrumet kommer att verka för utveckling av god arkitektur i byggande med industriella metoder och med nya material och processer. Det är ett forum för tvärdisciplinär samverkan, inte en ämnesspecifik forskargrupp.

Centrumets hemsida [www.arkitektur-industri.se](http://www.arkitektur-industri.se) publicerades i april 2007, placerad under Chalmers Arkitekturs samverkanssidor. På denna hemsida finns en allmän beskrivning av centrumet, och där ligger beskrivning av pågående forskningsprojekt och examensarbeten, pdf-versioner av avslutade forskningsprojekt och examensarbeten, inbjudan till möten och minnesanteckningar och presentationer från tidigare möten, med mera.

Vårt arbete har också gett upphov till att ARQ höll ett seminarium i oktober 2006; *Arkitekten och fabriken – ett seminarium om en arkitektroll i förändring*. Vi har presenterat arbetet på Växjösamtalet (mars 2007), Nordic Architectural Research Workshop i Köpenhamn (april 2006), på Design- och Konstruktionsdagen på Chalmers (november 2005), på möten med ManuBuild, NCC och White (2005-2007).

Referensgruppen har gett synpunkter på arbetet vid tre tillfällen; i maj 2006, november 2006 och april 2007.



Dan Engström har getts möjlighet att verka vid Chalmers Arkitektur som adjungerad professor i Form&Teknik med särskild inriktning på Industriell arkitektur, också som en direkt följd av projektet 4B. Detta har gjort att ämnet industrialisering finner sin väg till grundutbildningen för arkitekter och till arkitekturforskningen.

Relaterade artiklar har publicerats i: Arkitekten maj 2007, Väg- och Vattenbyggaren no 3/2007 och no 4/2007 samt i Arkitektur maj 2007.

## 12 Examensarbeten

Två examensarbeten har publicerats inom ramen för projektet, av Elsa Törnros och Marie-Louise Greger.

Elsa Törnros: "*Industrialization in residential building - mass production or mass customisation?*" I detta examensarbete reflekterar Elsa över vilka konsekvenser en industrialisering av byggbranschen kan få för bostadsarkitekturen. Fokus är på dialektiken likriktning/individualisering och utgångspunkten att industrialiseringen skulle kunna leda till "mass customisation" snarare än massproduktion. Genom att ta upp exempel från byggbranschen och andra branscher vill jag peka på den potential som industrialiseringen innebär och fundera över hur detta skulle kunna inspirera utvecklingen inom bostadsbyggandet. Klar april 2007,Handledare Ola Nylander.

Marie-Louise Greger "*BoVo - Bostäder byggda med volymelement - en studie av arkitektoniska möjligheter med industriell produktion*". Hur hanterar man modularisering och tekniska plattformar för att nå god arkitektonisk kvalitet? Vilken effekt kan industrialiseringen få för slutresultatet? Arbetets fokus ligger på arkitektens arbete i projekteringsfasen för ett flerbostadshus. Marie-Louise undersöker i vilken utsträckning det är möjligt att bygga flerbostadshus med förtillverkade volymelement samt analysera konsekvenser för arkitekturen och boendeupplevelsena. Klart mars 2007. Handledare Ola Nylander och Dan Engström.